第47卷　第3期
2024年3月

干旱区地理
ARID LAND GEOGRAPHY

Vol. 47　No. 3
Mar. 2024

2000—2021年图木舒克市生态环境质量动态监测与评价

王　剑[1]，管　瑶[1]，贺兴宏[1,2]，代云豪[3]，陈艺伟[1]，王育强[1]，
李会文[1]，范德宝[1]

（1. 塔里木大学水利与建筑工程学院，新疆 阿拉尔　843300；2. 塔里木大学南疆岩土工程研究中心，
新疆 阿拉尔　843300；3. 北川羌族自治县公路运输管理所，四川 绵阳　621000）

摘　要：为客观评价新疆图木舒克市驱动因素对其生态环境质量的影响，选取图木舒克市2000、2011年和2021年3期Landsat影像数据，耦合归一化植被指数（NDVI）、土壤湿度（WET）、干度（NDSI）、地表温度（LST）4个指标，分析主成分构建遥感生态指数（RSEI），结合研究区自然因素和社会经济因素，对图木舒克市近22 a来生态环境质量进行动态监测与评价。结果表明：（1）图木舒克市近22 a来RSEI均值从0.406升至0.476，生态环境质量变好面积远大于变差面积，改善区域主要分布在研究区中部、东南、西北地区，近22 a生态环境质量得到有效改善。（2）通过对图木舒克市驱动因素进行分析，当地生态环境质量受人口、国内生产总值（GDP）、耕地面积、气候等因素影响，在驱动因素中社会经济因素对当地生态环境质量有显著影响。（3）通过构建RSEI并分析其驱动因素对生态环境质量的影响，可以高效、准确地对当地生态环境质量进行动态监测与客观评价。

关 键 词：图木舒克市；遥感生态指数；生态环境质量；驱动因素；动态监测

文章编号：1000－6060(2024)03－0465－09(0465～0473)

新疆受地理条件限制，昼夜温差大、降雨量少，导致新疆很多地区干旱缺水，新疆图木舒克市生态环境脆弱，农业生产受到严重影响，所以准确了解当地生态环境的质量对于当地农业生产、人类生活、经济建设发展有着重要意义[1]。

生态环境状况指数（EI）可用来评价区域生态环境质量状况[2-3]，遥感技术在监测区域生态环境质量中已得到广泛应用，其具有高效性、及时性等特点，可为监测研究区生态环境质量提供实时数据，也为监测区域生态环境质量变化提供了更多可能性[4-5]。近年来，众多国内外学者利用遥感生态指数（RSEI）对区域生态环境质量进行动态监测与评价，Boori等[6]分别利用RSEI和EI对区域生态环境质量进行研究，表明传统生态学原理与遥感技术相结合的新兴研究课题对区域环境保护和可持续发展具有重要意义。同时，有学者[7-10]利用RSEI对露天矿区、科尔沁沙地、新疆干旱区博乐市和滨海湿地的生态环境质量变化进行研究，研究表明RSEI适用于不同土地类型，可对不同类型研究区高效、准确地进行生态环境动态监测。目前，利用RSEI对区域生态环境质量进行动态监测与评价已广泛应用到城市[11-13]、矿区[14-15]、湿地[16-17]、干旱区[18-20]等众多区域。现大多学者只对区域生态环境质量进行了监测评估，研究区自然因素与社会因素对其生态环境质量的影响没有进行多角度的客观评价。由评价指标构成生态环境质量评价体系，并分析探究其生态质量变化与当地驱动因素之间的相互关系，既可对研究区生态环境动态监测，也可为研究区规划治理生态环境提供一定的参考依据，对促进研究区生态环境的保护与社会经济的可持续发展具有重要意义[4]。

新疆图木舒克市是南疆发展的重点城市，生态环境监测是生态环境保护工作的“生命线”，本研究

收稿日期：2023-08-14；　**修订日期：**2023-09-15
基金项目：兵团重点产业创新发展支撑计划项目（2021DB017）；中国农业大学塔里木大学联合基金项目（2019TC157）资助
作者简介：王剑（1999-），男，硕士研究生，主要从事遥感监测与生态保护研究. E-mail: wangjian991010@163.com
通讯作者：管瑶（1975-），女，博士，教授，主要从事水生态保护及水资源高效利用研究. E-mail: guanyao1206@163.com

选取图木舒克市2000—2021年3期遥感影像数据，通过归一化植被指数(NDVI)、土壤湿度(WET)、干度(NDSI)、地表温度(LST)4个指标构建RSEI，对图木舒克市近22 a来生态环境质量进行动态监测与客观评价，并分析其当地社会经济与自然条件等驱动因素与生态环境质量的相互关系，为图木舒克市未来发展提供一定的理论依据，从而促进图木舒克市未来可持续发展。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

图木舒克市(39°36′~40°04′N，78°38′~79°50′E)位于新疆塔里木盆地西北边缘，全市总人口32.66×10^4人，总面积1941 km²，地貌特征表现为平原、沙丘等[1]。图木舒克市气候属于暖温带大陆性干旱气候，日照时间长，受太阳辐射较强，昼夜温差大，夏季炎热，冬季寒冷，四季分明，年均气温10~13 ℃，年降水量12.3~30.1 mm，主要农作物为棉花，是国家批准的优质商品棉基地[21](图1)。

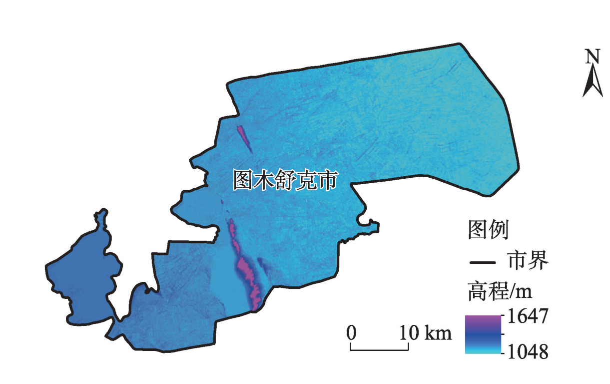


图1 研究区示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the study area

1.2 数据来源

在地理空间数据云(http://www.gscloud.cn)中下载Landsat影像数据，选取2000年9月5日和2011年9月12日Landsat 7 ETM+、2021年8月30日Landsat 8 OLI共3期云量小于10%的遥感影像数据。人口、国内生产总值(GDP)、农业种植面积等数据来源于新疆生产建设兵团统计年鉴[1]。降雨量、气温数据来源于羲和能源大数据平台(https://www.xihe-energy.com)。

1.3 研究方法

1.3.1 *数据预处理* 研究区原始影像利用ENVI 5.3对其进行几何校正、辐射定标、大气校正等预处理操作[22]，对统计年鉴中人口、GDP、农业种植面积、降雨量等数据进行整理，利用Origin 2018对数据分析。

1.3.2 *生态指数因子* 遥感生态指数(RSEI)由NDVI、WET、NDSI、LST 4个生态指数构建。

(1) 归一化植被指数(NDVI)。

NDVI常应用于植物生长状况和生态环境变化的监测，监测灵敏度高，能够较为真实地反映出研究区的地表变化规律，已得到广泛应用[5]。计算公式为：

$$\mathrm{NDVI}=\frac{\rho_n-\rho_r}{\rho_n+\rho_r} \tag{1}$$

(2) 土壤湿度(WET)。

研究区生态环境质量状况的好坏可以由土壤湿度的高低来反映，湿度是监测地表环境的重要指标，为能有效地去除冗余数据，本文采用遥感缨帽变换来反演土壤湿度[23]。$\mathrm{WET_{TM}}$、$\mathrm{WET_{OLI}}$分别为在Landsat 7 ETM+、Landsat 8 OLI中土壤湿度的值。计算公式为：

$$\mathrm{WET_{TM}}=0.0315\rho_b+0.2021\rho_g+0.3102\rho_r+0.1594\rho_n-0.6806\rho_{s1}-0.6109\rho_{s2} \tag{2}$$

$$\mathrm{WET_{OLI}}=0.1511\rho_b+0.1973\rho_g+0.3283\rho_r+0.3407\rho_n-0.7117\rho_{s1}-0.4559\rho_{s2} \tag{3}$$

(3) 干度(NDSI)。

利用建筑指数(IBI)与裸土指数(SI)构建NDSI[5]，计算公式为：

$$\mathrm{IBI}=\left(\frac{2\rho_{s1}}{\rho_{s1}+\rho_r}-\frac{\rho_n}{\rho_n+\rho_r}-\frac{\rho_g}{\rho_g+\rho_{s1}}\right)\Big/\left(\frac{2\rho_{s1}}{\rho_{s1}+\rho_r}+\frac{\rho_n}{\rho_n+\rho_r}+\frac{\rho_g}{\rho_g+\rho_{s1}}\right) \tag{4}$$

$$\mathrm{SI}=\frac{(\rho_{s1}+\rho_r)-(\rho_n+\rho_b)}{(\rho_{s1}+\rho_r)+(\rho_n+\rho_b)} \tag{5}$$

$$\mathrm{NDSI}=(\mathrm{IBI}+\mathrm{SI})/2 \tag{6}$$

式中：ρ_b、ρ_g、ρ_r、ρ_n、ρ_{s1}、ρ_{s2}分别为蓝、绿、红、近红外、短红外1、短红外2波段反射率[24]。

(4) 地表温度(LST)

本文热度指数利用大气校正法进行反演，热度指数由地表温度表示，在Landsat ETM+中热辐射强度由灰度值转换得到，地表亮度温度值由热辐射强度推算得到[22,25]。在Landsat OLI中利用大气校正法反演LST[23]。

在Landsat ETM+中，计算公式为：

$$L_\alpha=L_{\min(\alpha)}+\frac{(L_{\max(\alpha)}-L_{\min(\alpha)})Q_{dn}}{Q_{\max}-Q_{\min}} \tag{7}$$

$$T=K_2/\ln[K_1/L_\alpha+1] \tag{8}$$

$$\mathrm{LST}=T-273.15 \tag{9}$$

式中：L_α、$L_{max(\alpha)}$、$L_{min(\alpha)}$分别为卫星传感器所接收到的热红外波段的辐射值、最大和最小辐射长度；Q_{dn}、Q_{max}、Q_{min}分别为像元灰度值、最大和最小灰度值；T为黑体在热红外波段的辐射亮度[22]；K_1、K_2为定标参数，K_1=60.6093 MW·cm^{-2}·sr^{-1}·μm^{-1}，K_2=1282.7108 K。

在Landsat OLI中，计算公式为：

$$B_{LST} = [L_\alpha - L\downarrow - \tau(1-\varepsilon)L\uparrow]/\tau\varepsilon \quad (10)$$

$$L_\alpha = [\varepsilon B_{LST} + (1-\varepsilon)L\uparrow]\tau + L\downarrow \quad (11)$$

$$\mathrm{LST} = K_2/\ln[K_1/B_{LST} + 1] \quad (12)$$

式中：LST、B_{LST}、L_α、τ、ε分别为地表温度（K）、黑体热辐射亮度、热红外波段的辐射值、大气在热红外波段的透过率、地表比辐射率；$L\uparrow$、$L\downarrow$分别为大气向上、向下辐射亮度[23]；K_1=774.89 MW·cm^{-2}·sr^{-1}·μm^{-1}，K_2=1321.08 K[26]。

1.3.3　遥感生态指数（RSEI）　考虑水体对湿度指标的影响，图木舒克市内有西北地区最大的小海子水库和永安坝南北水库[21]，故将该研究内水域进行掩膜处理，不再考虑水体面积的变化[27]。为避免NDVI、WET、NDSI、LST 4个指标权重失衡，本文采用主成分分析法将4个指标集成，对4个指标进行归一化处理后，再进行主成分分析，从而保证结果准确性[5]。RSEI数值在[0, 1]之间，数值越大表明生态环境质量越好[22]。

$$I_i = \frac{I_x - I_{min}}{I_{max} - I_{min}} \quad (13)$$

$$\mathrm{RSEI} = f(\mathrm{NDVI}, \mathrm{WET}, \mathrm{NDSI}, \mathrm{LST}) \quad (14)$$

$$\mathrm{RSEI}_0 = 1 - \{\mathrm{PC1}[f(\mathrm{NDVI}, \mathrm{WET}, \mathrm{NDSI}, \mathrm{LST})]\} \quad (15)$$

$$\mathrm{RSEI} = (\mathrm{RSEI}_0 - \mathrm{RSEI}_{0_min})/(\mathrm{RSEI}_{0_max} - \mathrm{RSEI}_{0_min}) \quad (16)$$

式中：I_x为各指标值（NDVI、WET、NDSI、LST）；I_i为各指标归一化后的值；I_{max}、I_{min}分别为各指标归一化后的最大、最小值；PC1[f(NDVI, WET, NDSI, LST)]为第一主成分；RSEI_0、RSEI_{0_max}、RSEI_{0_min}分别为遥感生态指数初始值、最大和最小初始值[9]。

2　结果与分析

2.1　RSEI主成分分析

2000—2021年图木舒克市RSEI主成分分析结果（表1），PC1贡献率最高，分别为88.33%、91.30%、93.11%，平均高达90.91%；PC2、PC3、PC4贡献率平均分别为6.86%、1.79%、0.44%。PC1的4个指标贡献率均超过85%，表明PC1最大程度地集中了各指标特征，可用来构建RSEI，且能较为全面地反映出图木舒克市的生态环境综合状况，能对研究区生态环境质量较好评价。

表1　遥感生态指数主成分分析结果

Tab. 1　Principal component analysis results of remote sensing ecological index

主成分	2000年		2011年		2021年	
	特征值	贡献率/%	特征值	贡献率/%	特征值	贡献率/%
PC1	0.0400	88.33	0.0227	91.30	0.0588	93.11
PC2	0.0034	7.60	0.0018	7.21	0.0036	5.77
PC3	0.0016	3.47	0.0002	0.89	0.0006	1.01
PC4	0.0003	0.60	0.0002	0.60	0.0001	0.11

表2　2000—2021年图木舒克市遥感生态指数（RSEI）均值

Tab. 2　Average RSEI in Tumshuk City from 2000 to 2021

年份	2000	2011	2021
RSEI均值	0.406	0.417	0.476

2.2　图木舒克市生态环境质量变化分析

2.2.1　RSEI均值　利用ENVI 5.3对2000—2021年图木舒克市3期RSEI统计，计算得到RSEI均值（表2），2000—2011年RSEI均值从0.406增至0.417，增量为0.011，增长率为2.71%；2011—2021年RSEI均值从0.417增至0.476，增量为0.059，增长率为14.15%；22 a来RSEI均值从0.406增至0.476，增量为0.07，增长率为17.24%。2000—2021年图木舒克市RSEI均值呈持续上升趋势，但均在0.5以下，表明当地生态环境质量还仍继续保护和提升。

2.2.2　生态环境质量空间分布　为直观反映出图木舒克市生态环境质量变化，以0.2为区间将RSEI划分为5个等级：差[0, 0.2）、较差[0.2, 0.4）、中等[0.4, 0.6）、良[0.6, 0.8）和优[0.8, 1.0][5]。绘制2000—2021年图木舒克市生态环境质量各等级的空间分布状况图（图2a~c），统计2000—2021年图木舒克市不同生态环境质量等级面积和所占比例（表3）。

利用卫星地图观测和实地调查的方式对研究区生态环境质量变化状况进行勘察验证，发现图木舒克市生态环境质量显示差等级的区域主要为干旱沙漠，较差等级的区域主要为重度盐碱地，中等级区域主要为城市居地和稀疏草地，良等级区域主要为水域附近的少量耕地，优等级主要为林地和耕地。

由图木舒克市不同生态环境质量等级面积（表

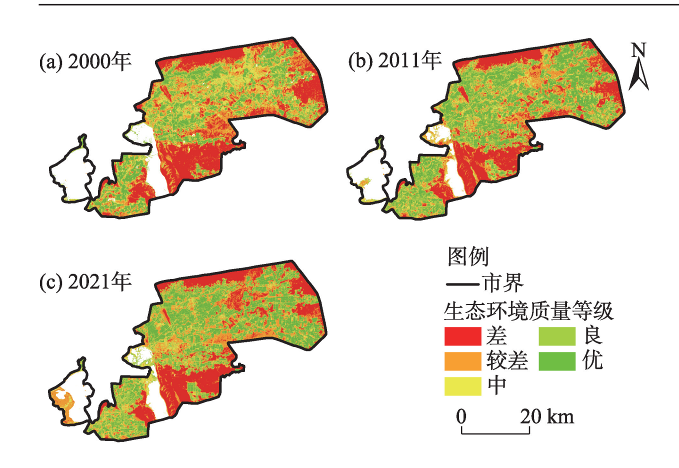


图2 图木舒克市生态环境质量等级分布

Fig. 2 Distribution of ecological environment quality levels in Tumshuk City

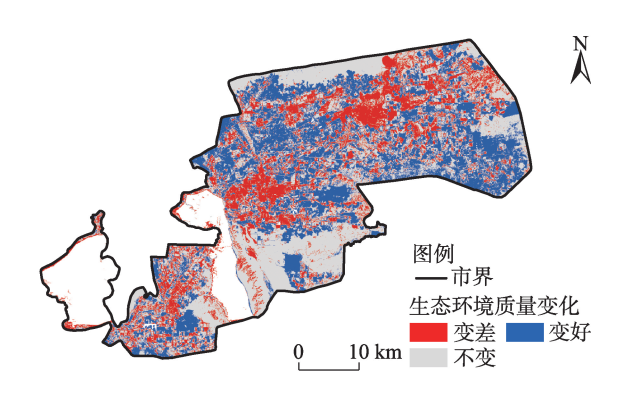


图3 2000—2021年图木舒克市生态环境质量等级变化

Fig. 3 Changes of ecological environment quality levels in Tumshuk City from 2000 to 2021

3)可知,2000—2021年图木舒克市中等级面积呈逐年"降低"趋势,共减少71.82 km²,下降23.83%;差和较差两等级面积占比较高,两等级占比呈"降低-升高"变化趋势,总体呈降低变化,共减少73.08 km²,下降8.11%;良等级呈"升高-降低"变化趋势,良等级面积共增加66.46 km²,增长率为29.45%;优等级呈持续"升高"变化趋势,面积占比从15.57%增至23.19%,共增加143.96 km²,增长率为54.64%。综上所述,图木舒克市近22 a来生态环境质量总体呈变好趋势。

2.2.3 生态环境质量时空变化 对图木舒克市2000、2011年和2021年RSEI进行等级变化监测,得到图木舒克市生态环境质量等级变化(图3)、生态环境质量变化面积转移矩阵(表4)和生态环境质量变化级差面积(表5)。

2000—2021年图木舒克市生态环境等级变化区域分布广泛,2000—2021年图木舒克市生态环境质量不变的面积为740.483 km²,占总面积的42.55%,主要分布在研究区北部和南部地区;变差面积为438.610 km²,占总面积的25.21%,主要分布在研究区东北、西南地区;变好面积为560.994 km²,占总面积的32.24%,主要分布在研究区中部、东南、西北地区。2000—2021年图木舒克市生态环境质量变好面积远大于变差面积,表明图木舒克市近22 a来生态环境质量总体得到提升,当地生态环境得到有效改善。

表3 不同生态环境质量等级面积

Tab. 3 Area of different ecological environment quality levels

RSEI等级	2000年		2011年		2021年	
	面积/km²	占比/%	面积/km²	占比/%	面积/km²	占比/%
差	536.340	31.71	436.551	25.07	456.420	25.98
较差	364.723	21.56	317.865	18.26	371.561	21.15
中等	301.383	17.82	257.043	14.76	229.559	13.06
良	225.632	13.34	331.785	19.05	292.091	16.62
优	263.477	15.57	398.097	22.86	407.435	23.19

表4 生态环境质量变化面积转移矩阵

Tab. 4 Stochastic matrix of ecological environment quality change area /km²

质量等级		2021年				
		差	较差	中等	良	优
2000年	差	351.924	80.388	25.079	35.514	43.412
	较差	66.528	129.218	46.693	54.022	68.172
	中等	28.031	83.280	60.566	55.367	73.908
	良	55.150	32.990	49.969	57.990	78.440
	优	1.935	14.408	28.391	77.927	140.785

表5 2000—2021年生态环境质量变化级差面积统计

Tab. 5 Statistics of the difference area of ecological environment quality change from 2000 to 2021

类别	变化级差	变化面积/km²	类面积/km²	占比/%
变差	-4	1.935	438.610	25.21
	-3	69.558	-	-
	-2	89.413	-	-
	-1	277.704	-	-
不变	0	0.000	740.483	42.55
变好	1	260.888	560.994	32.24
	2	153.008	-	-
	3	103.686	-	-
	4	43.412	-	-

2.3 驱动因素分析

RSEI能较好地反映图木舒克市的生态环境质量，当地生态环境质量的变化同时也受其相关驱动因素的影响。通过查阅新疆生产建设兵团统计年鉴[1]，提取2000—2021年图木舒克市社会经济因素和自然因素等驱动因素数据（表6），分析得到图木舒克市2000—2021年人口与GDP变化趋势（图4）；种植业、农业生产总值与农业种植面积变化趋势（图5）；年均气温和年降水量变化趋势（图6）。

2.3.1 社会经济因素 2000—2010年图木舒克市人口和GDP增长趋势均较为缓慢，2010年开始人口增长和经济发展开始加速，2010—2021年图木舒克市人口和GDP增长趋势较大。农业种植面积在2000—2009年逐年增长，2010年有所下降，2010—2021年农业种植面积在9.5×10^4~13.5×10^4 hm^{2}内波动变化。由于图木舒克市生态环境质量逐渐提高，

表6 2000—2021年图木舒克市驱动因素数据信息

Tab. 6 Driver data information in Tumshuk City from 2000 to 2021

驱动因素类型	驱动因素	数据来源
社会经济因素	人口	新疆生产建设兵团统计年鉴[1]
	国内生产总值(GDP)	
	种植业生产总值	
	农业(农牧渔)生产总值	
	农业种植面积	
自然因素	年均气温	羲和能源大数据平台(https://www.xihe-energy.com)
	年降水量	

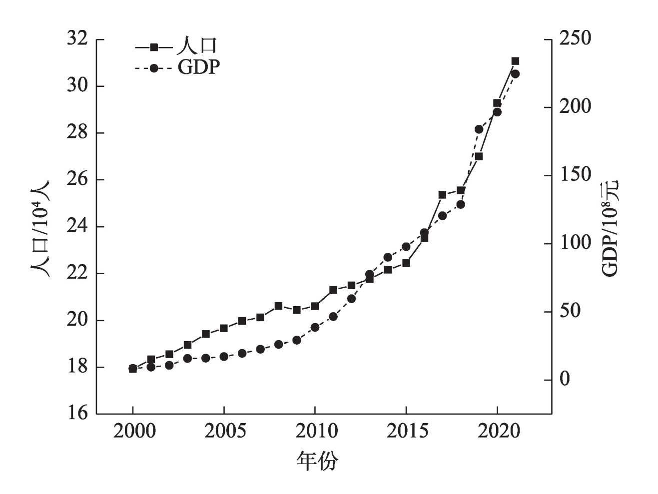


图4 2000—2021年图木舒克市人口与国内生产总值(GDP)变化趋势

Fig. 4 Change trends of population and GDP in Tumshuk City from 2000 to 2021

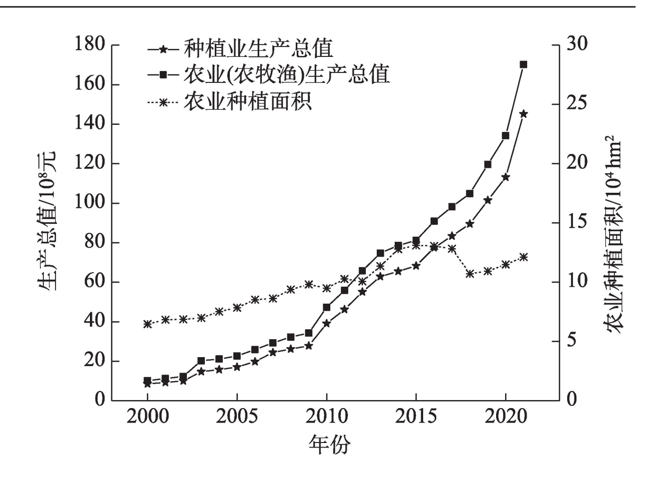


图5 2000—2021年图木舒克市种植业和农业生产总值与农业种植面积变化趋势

Fig. 5 Change trends of planting industry, gross agricultural product, and agricultural planting area in Tumshuk City from 2000 to 2021

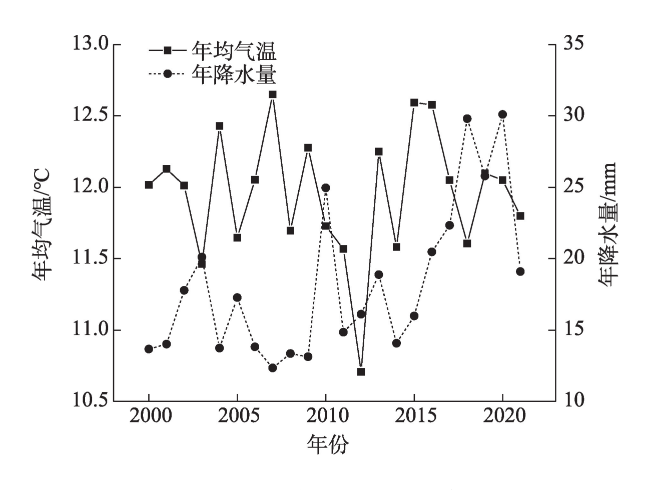


图6 2000—2021年图木舒克市气温与降水量变化趋势

Fig. 6 Change trends of temperature and precipitation in Tumshuk City from 2000 to 2021

在2010年开始改善当地的农业生产条件，加大农业机械器具数量，扩大机械耕地范围，生产建设逐渐加强；同时增加交通运输车辆，使货物运输和周转更加方便，进而促进图木舒克市在2010年间经济快速发展，社会经济方面全面大幅度提升。人口的增长和经济的快速发展会导致人类在研究区内人口密度和活动轨迹增加，导致区域内土地类型发生变化，对研究区生态环境质量等级变化有一定影响。

2.3.2 自然因素 为研究气候、降水量等自然因素对图木舒克市生态环境质量的影响，获取并分析图木舒克市近22 a气象数据，发现2000—2021年图木舒克市年均气温在10~13 ℃之间波动，年降水量在10~35 mm之间波动；近22 a来图木舒克年均气温、

年降雨水在一个区间内不断波动。2000—2011年图木舒克市年均气温波动范围为11.5~13.0 ℃,年降雨量较低;2011—2021年年均气温波动范围为10.5~12.6 ℃,年降水量逐渐增长。年均气温的稳定和降水量的增多会对图木舒克市生态环境质量变化起到积极作用,年均气温波动范围较大和降水量减少对生态环境质量改善会产生一定消极影响。

综上所述,结合图木舒克市RSEI和生态环境质量时空变化分析,图木舒克市生态环境质量受社会因素和自然因素的影响,研究区自然因素对生态环境质量影响较小,社会经济因素对生态环境质量影响较大。

3 讨 论

3.1 生态环境质量变化趋势

城市的植被覆盖度对其生态环境保护具有一定贡献作用[14-15]。白松[28]对图木舒克市植被覆盖情况进行研究,显示研究区1993—2019年植被覆盖面积大幅度增加;土地利用类型变化会引起生态环境质量的变化[20],如克亚·热合曼等[29]对图木舒克市1998—2018年土地利用类型变化做出研究,研究表明图木舒克市耕地、建设用地面积呈增加趋势。通过研究城市的植被覆盖率和土地利用变化可以反映出当地人类活动与自然环境、社会经济发展对生态环境质量变化特征,研究区植被覆盖面积和耕地面积的增加,对当地生态环境质量变好起到积极作用[18,30]。通过对近22 a图木舒克市RSEI分析,总体生态环境逐渐变好,与当地的植被覆盖率和耕地面积增加有密切关系,未来应继续加强当地生态环境的保护措施,进一步提升当地生态环境质量。

3.2 驱动因素

气候变化是影响生态环境的自然因素之一,社会经济与生态系统之间的关系尤为复杂[12]。气温和降水量的变化会影响土壤的湿度,气温升高导致空气中水分降低,降水量增多提高了土壤湿度[17];人口的增长会引起城市的扩张,社会经济发展与生态环境保护需要相互协调[13,19]。本文对研究区人口、GDP、气候、农业等驱动因素进行变化分析,显示社会经济因素对当地生态环境质量变化具有显著影响,耕地面积的增多和农业大力发展,提高了当地居民的收益,使经济效益不断提升,促进了当地社会经济的发展,也使生态环境质量得到提升,这与众多学者研究结果大致相同[12-13,19,31]。为了促进图木舒克市未来可持续发展,当地生态环境的保护仍是需要持续关注的问题。

4 结 论

(1) 2000、2011年和2021年图木舒克市RSEI均值分别为0.406、0.417和0.476,生态环境质量变好面积远大于变差面积,改善区域主要分布在研究区中部、东南、西北地区,近22 a生态环境质量得到有效改善。

(2) 通过对图木舒克市自然因素和社会经济因素进行分析,当地生态环境质量受人口、GDP、耕地面积、气候等因素影响,在驱动因素中社会经济因素对当地生态环境质量有显著影响。

(3) 由NDVI、WET、NDSI及LST构建RSEI,可以高效、准确地对当地生态环境质量进行动态监测与客观评价,可为今后图木舒克市生态环境保护和社会经济发展提供一定理论依据。

参考文献(References)

[1] 新疆生产建设兵团年鉴编辑委员会. 兵团年鉴[M]. 乌鲁木齐: 新疆生产建设兵团年鉴社, 2020. [Editorial Committee of Xinjiang Production and Construction Corps Yearbook. Xinjiang Production and Construction Corps yearbook[M]. Urumqi: Xinjiang Production and Construction Corps Yearbook Society, 2020.]

[2] HJ192-2015. 生态环境状况评价技术规范[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2015. [HJ192-2015. Technical specification for ecological environment assessment[S]. Beijing: China Environmental Science Press, 2015.]

[3] 满卫东, 刘明月, 李晓燕, 等. 1990—2015年三江平原生态功能区生态功能状况评估[J]. 干旱区资源与环境, 2018, 32(2): 136-141. [Man Weidong, Liu Mingyue, Li Xiaoyan, et al. Assessment on the dynamics of eco-environmental statuses from 1990 to 2015 in the ecological function zone of Sanjiang Plain[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2018, 32(2): 136-141.]

[4] 赵国强, 陈立文, 穆佳, 等. 生态环境质量评价体系建设的探讨[J]. 气象与环境科学, 2018, 41(1): 1-11. [Zhao Guoqiang, Chen Liwen, Mu Jia, et al. Discussion on construction of ecological environment quality evaluation system[J]. Meteorological and Environmental Sciences, 2018, 41(1): 1-11.]

[5] 徐涵秋. 区域生态环境变化的遥感评价指数[J]. 中国环境科学, 2013, 33(5): 889-897. [Xu Hanqiu. A remote sensing index for assessment of regional ecological changes[J]. China Environmental Science, 2013, 33(5): 889-897.

[6] Boori M S, Choudhary K, Paringer R, et al. Eco-environmental quality assessment based on pressure-state-response framework by remote sensing and GIS[J]. Remote Sensing Applications: Society and Environment, 2021, 23(1): 100530, doi: 10.1016/j.rsase.2021.100530.

[7] 刘英, 朱蓉, 岳辉. 典型露天矿区生态环境遥感评价[J]. 西安科技大学学报, 2021, 41(4): 682-691. [Liu Ying, Zhu Rong, Yue Hui. Remote sensing evaluation of ecological environment in typical open-pit mining areas[J]. Journal of Xi' an University of Science and Technology, 2021, 41(4): 682-691.]

[8] 刘峰, 杨光, 韩雪莹, 等. 科尔沁沙地生态环境质量遥感动态监测——以奈曼旗为例[J]. 水土保持研究, 2020, 27(5): 244-249. [Liu Feng, Yang Guang, Han Xueying, et al. Dynamic monitoring of eco-environmental quality in Horqin Sandy Land by remote sensing: A case study of Naiman Banner[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2020, 27(5): 244-249.]

[9] 张乃明, 陈冬花, 邢菲, 等. 基于遥感生态指数的新疆干旱区博乐市生态变化分析[J]. 水土保持通报, 2019, 39(1): 154-159. [Zhang Naiming, Chen Donghua, Xing Fei, et al. Ecological change analysis of Bole City in arid regions of Xinjiang Wei Autonomous Region based on remote sensing ecological index[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2019, 39(1): 154-159.]

[10] 柯丽娜, 徐佳慧, 王楠, 等. 基于遥感生态指数的滨海湿地生态质量变化评价——以辽东湾北部区为例[J]. 生态环境学报, 2022, 31(7): 1417-1424. [Ke Lina, Xu Jiahui, Wang Nan, et al. Evaluation of ecological quality of coastal wetland based on remote sensing ecological index: A case study of northern Liaodong Bay[J]. Ecology and Environmental Sciences, 2022, 31(7): 1417-1424.]

[11] 程志峰, 何祺胜. 基于RSEI的苏锡常城市群生态环境遥感评价[J]. 遥感技术与应用, 2019, 34(3): 531-539. [Cheng Zhifeng, He Qisheng. Remote sensing evaluation of the ecological environment of Su-Xi-Chang City group based on remote sensing ecological index (RSEI)[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2019, 34(3): 531-539.]

[12] 杭鑫, 罗晓春, 曹云, 等. 基于RSEI模型的生态质量评估及城镇化影响——以南京市为例[J]. 应用生态学报, 2020, 31(1): 219-229. [Hang Xin, Luo Xiaochun, Cao Yun, et al. Ecological quality assessment and the impact of urbanization based on RSEl model for Nanjing, Jiangsu Province, China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2020, 31(1): 219-229.]

[13] 任堃, 罗漫雅, 赵永华, 等. 西安市生态环境及城市发展质量评估[J]. 应用生态学报, 2022, 33(9): 2485-2492. [Ren Kun, Luo Manya, Zhao Yonghua, et al. Evaluation of ecological environment and urban development quality in Xi' an City, China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2022, 33(9): 2485-2492.]

[14] 李婧, 郝育红, 孙京敏, 等. 基于遥感生态指数的城市矿山生态环境时空变化评价[J]. 城市发展研究, 2021, 28(1): 17-22. [Li Jing, Hao Yuhong, Sun Jingmin, et al. Evaluation of ecological environment' spatio-temporal variation in urban mine based on RSEI [J]. Urban Development Studies, 2021, 28(1): 17-22.]

[15] 范德芹, 邱玥, 孙文彬, 等. 基于遥感生态指数的神府矿区生态环境评价[J]. 测绘通报, 2021(7): 23-28. [Fan Deqin, Qiu Yue, Sun Wenbin, et al. Evaluating ecological environment based on remote sensing ecological index in Shenfu mining area[J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2021(7): 23-28.]

[16] 李凤莹, 张饮江, 赵志淼, 等. 基于遥感生态指数的上海南汇东滩海岸带湿地生态格局变化评价[J]. 上海海洋大学学报, 2020, 29(5): 746-756. [Li Fengying, Zhang Yinjiang, Zhao Zhimiao, et al. Evaluation of ecological pattern change of Nanhui Dongtan wetland in Shanghai based on remote sensing ecological index[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2020, 29(5): 746-756.]

[17] 王丽春, 焦黎, 来风兵, 等. 基于遥感生态指数的新疆玛纳斯湖湿地生态变化评价[J]. 生态学报, 2019, 39(8): 2963-2972. [Wang Lichun, Jiao Li, Lai Fengbing, et al. Evaluation of ecological changes based on a remote sensing ecological index in a Manas Lake wetland, Xinjang[J]. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(8): 2963-2972.]

[18] 周玄德, 郭华东, 杨胜天, 等. 干旱区绿洲城市生态环境时空变化特征分析——以克拉玛依市为例[J]. 干旱区地理, 2021, 44(4): 1070-1082. [Zhou Xuande, Guo Huadong, Yang Shengtian, et al. Temporal and spatial variation characteristics of oasis urban ecological environment in arid region: A case study of Karamay City[J]. Arid Land Geography, 2021, 44(4): 1070-1082.]

[19] 排日海·合力力, 昝梅, 阿里木江·卡斯木. 乌鲁木齐市生态环境遥感评价及驱动因子分析[J]. 干旱区研究, 2021, 38(5): 1484-1496. [Helili Pairihai, Zan Mei, Kasim Alimujiang. Remote sensing evaluation of ecological environment in Urumqi City and analysis of driving factors[J]. Arid Zone Research, 2021, 38(5): 1484-1496.

[20] 李朋轩, 杨永崇, 王涛, 等. 新疆地区土地利用变化及其对生态环境质量的影响[J]. 北方园艺, 2022(8): 67-75. [Li Pengxuan, Yang Yongchong, Wang Tao, et al. Land use change and its impact on ecological environment quality in Xinjiang[J]. Northern Horticulture, 2022(8): 67-75.]

[21] 李申浩. 全域旅游背景下图木舒克市城乡规划优化策略研究[D]. 武汉: 长江大学, 2021. [Li Shenhao. Study on planning optimization strategy of global tourism in Tumushuk City[D]. Wuhan: Yangtze University, 2021.]

[22] 代云豪, 管瑶, 刘孟琴, 等. 1990—2020年阿拉尔垦区生态环境质量动态监测与评价[J]. 水土保持通报, 2022, 42(2): 122-128. [Dai Yunhao, Guan Yao, Liu Mengqin, et al. Dynamic monitoring and evaluation of ecological environment quality in Alar reclamation area from 1990 to 2020[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2022, 42(2): 122-128.]

[23] 何安良, 周江文. 基于RSEI模型的长沙市生态环境质量评价[J]. 江西科学, 2021, 39(2): 256-262. [He Anliang, Zhou Jiangwen. Evaluation of ecological environment quality in Changsha

City based on RSEI model[J]. Jiangxi Science, 2021, 39(2): 256-262.]

[24] 孙桂凯, 王国帅, 魏义熊, 等. 基于改进遥感生态指数的岩溶山区生态质量评价[J]. 水土保持通报, 2021, 41(2): 230-239. [Sun Guikai, Wang Guoshuai, Wei Yixiong, et al. Improvement of remote sensing ecological index in karst mountainous areas[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2021, 41(2): 230-239.]

[25] 程晨, 蔡喆, 闫维, 等. 基于Landsat TM/ETM+的天津城区及滨海新区热岛效应时空变化研究[J]. 自然资源学报, 2010, 25(10): 1727-1737. [Cheng Chen, Cai Zhe, Yan Wei, et al. Study of temporal and spatial variation of urban heat island based on Landsat TM in central city and Binhai New Area of Tianjin[J]. Journal of Natural Resources, 2010, 25(10): 1727-1737.]

[26] 李妍, 张国钦, 吝涛, 等. 乡镇遥感生态指数时空变化及影响因子研究——以天津市蓟州区为例[J]. 生态学报, 2022, 42(2): 474-486. [Li Yan, Zhang Guoqin, Lin Tao, et al. The spatiotemporal changes of remote sensing ecological index in towns and the influencing factors: A case study of Jizhou District, Tianjin[J]. Acta Ecologica Sinica, 2022, 42(2): 474-486.]

[27] 张娟, 文广超, 王恩营, 等. 基于遥感生态指数的焦作市生态环境动态监测与评价[J]. 水土保持通报, 2020, 40(6): 107-114. [Zhang Juan, Wen Guangchao, Wang Enying, et al. Dynamic monitoring and evaluation of ecological environment at Jiaozuo City based on remote sensing ecological index[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2020, 40(6): 107-114.]

[28] 白松. 1993—2019年图木舒克市植被覆盖度时空变化分析[J]. 陕西水利, 2021(6): 108-110. [Bai Song. Analysis of temporal and spatial changes of vegetation coverage in Tumshuk City from 1993 to 2019[J]. Shaanxi Water Resources, 2021(6): 108-110.]

[29] 如克亚·热合曼, 阿里木江·卡斯木, 哈力木拉提·阿布来提. 基于MSPA和MCR模型的图木舒克市生态安全格局构建[J]. 环境科学与技术, 2021, 44(5): 229-237. [Reheman Rukeya, Kasim Alimujiang, Ablat Halmurat. Construction of ecological security patterm in Tumshuk City based on MSPA and MCR model[J]. Environmental Science & Technology, 2021, 44(5): 229-237.]

[30] 王瑾杰, 丁建丽, 张子鹏. 基于遥感生态指数的吐哈地区生态环境变化研究[J]. 干旱区地理, 2022, 45(5): 1591-1603. [Wang Jinjie, Ding Jianli, Zhang Zipeng. Change of ecological environment in Turpan and Hami cities based on remote sensing ecology index [J]. Arid Land Geography, 2022, 45(5): 1591-1603.]

[31] 代云豪, 管瑶, 张钦凯, 等. 阿拉尔垦区土壤盐渍化遥感监测及时空特征分析[J]. 干旱区地理, 2022, 45(4): 1176-1185. [Dai Yunhao, Guan Yao, Zhang Qinkai, et al. Remote sensing monitoring and temporal and spatial characteristics of soil salinization in Aral Reclamation Area[J]. Arid Land Geography, 2022, 45(4): 1176-1185.]

Dynamic monitoring and evaluation of ecological environment quality in Tumshuk City from 2000 to 2021

WANG Jian[1], GUAN Yao[1], HE Xinghong[1,2], DAI Yunhao[3], CHEN Yiwei[1], WANG Yuqiang[1], LI Huiwen[1], FAN Debao[1]

(1. College of Water Conservancy and Architecture Engineering, Tarim University, Aral 843300, Xinjiang, China; 2. South Xinjiang Geotechnical Engineering Research Center, Tarim University, Aral 843300, Xinjiang, China; 3. Beichuan Qiang Autonomous County Highway Transportation Administrative Office, Mianyang 621000, Sichuan, China)

Abstract: To objectively evaluate the impact of driving factors on the ecological environment quality of Tumshuk City, Xinjiang, China, this study selects Landsat image data from three periods, 2000, 2011, and 2021. This data was coupled with normalized difference vegetation index, soil moisture, dryness index, and land surface temperature indicators. It analyzed principal components to construct a remote sensing ecology index (RSEI), combined natural and socioeconomic factors in the study area, and dynamically monitored and evaluated the ecological environment quality of Tumshuk City in the past 22 years. The results showed the following: (1) In the past 22 years, the average RSEI of Tumshuk City increased from 0.406 to 0.476, and the area with improved ecological environment quality was far greater in size than the area with deterioration. The improved areas were mainly distributed in the study area's central, southeast, and northwest regions, and their ecological environment quality has been effectively improved in the past 22 years. (2) By analyzing the driving factors of Tumshuk City, it was observed that the local ecological environment quality was influenced by factors such as population, gross domestic product, arable land area, and climate. Among the driving factors, socioeconomic factors had a notable impact on the local ecological environment quality. (3) By constructing RSEI and analyzing its driving factors on the impact of ecological environment quality, dynamic monitoring and objective evaluation of local ecological environment quality can be efficiently and accurately conducted.

Key words: Tumshuk City; remote sensing ecology index; ecological environment quality; driving factors; dynamic monitor